

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

KORIŠTENJE BIOMASE INVAZIVNE BILJNE
VRSTE JAPANSKI DVORNIK (*Reynoutria japonica*)
U PROIZVODNJI ENERGIJE

DIPLOMSKI RAD

PETRA FILIPČIĆ

ZAGREB, veljača, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Ekološka poljoprivreda i agroturizam

KORIŠTENJE BIOMASE INVAZIVNE BILJNE
VRSTE JAPANSKI DVORNIK (*Reynoutria japonica*)
U PROIZVODNJI ENERGIJE

DIPLOMSKI RAD

Petra Filipčić

Mentor: Prof. dr. sc. Neven Voća

Zagreb, veljača, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Petra Filipčić, JMBAG 0117211737, rođena 07. siječnja 1992. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

KORIŠTENJE BIOMASE INVAZIVNE BILJNE VRSTE JAPANSKI DVORNIK
(Reynoutria japonica) U PROIZVODNJI ENERGIJE

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE
O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice Petre Filipčić, JMBAG 0117211737, naslova

**KORIŠTENJE BIOMASE INVAZIVNE BILJNE VRSTE JAPANSKI DVORNIK
(*Reynoutria japonica*) U PROIZVODNJI ENERGIJE**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. prof. dr. sc. Neven Voća mentor

2. doc. dr. sc. Vanja Jurišić član

3. doc. dr. sc. Dubravka Dujmović Purgar član

Zahvala

Zahvaljujem se djelatnicima Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu koji je omogućio provođenje analiza za ovo istraživanje.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc.Nevenu Voći i mag.ing.agr Mateji Grubor, na neizmjernom strpljenu i pomoći tijekom provođenja laboratorijskih analiza. Također hvala članovima povjerenstva doc.dr.sc. Vanji Jurišić i doc.dr.sc. Dubravki Dujmović Purgar na savjetima i pomoći pri izradi diplomskog rada.

Veliko hvala mojoj obitelji, prijateljima, dečku i svima koji su bili uz mene tokom mog obrazovanja i iskazali mi podršku i povjerenje.

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
1.1.	CILJ ISTRAŽIVANJA.....	3
2.	PREGLED LITERATURE.....	4
2.1.	ODRŽIVI RAZVOJ I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE.....	4
2.2.	BIOMASA	5
2.3.	PIROLIZA	8
2.4.	INVAZIVNE STRANE VRSTE.....	9
2.5.	<i>Reynoutria japonica</i> (japanski dvornik).....	12
2.5.1	Morfologija	12
3.	MATERIJALI I METODE.....	16
3.1.	MATERIJALI	16
3.2.	METODE	19
3.2.1.	Priprema, mljevenje i prosijavanje uzoraka.....	19
3.2.2.	Sadržaj vode.....	20
3.2.3.	Sadržaj pepela.....	20
3.2.4.	Sadržaj koksa.....	21
3.2.5.	Fiksirani ugljik.....	21
3.2.6.	Hlapive tvari	21
3.2.7.	Celuloza, hemiceluloza i lignin	22
3.2.8.	Kalorimetrija.....	22
3.2.9.	Proces pirolize	23
3.2.10.	Statistička analiza rezultata.....	25
4.	REZULTATI I RASPRAVA.....	26
5.	ZAKLJUČAK	40
6.	LITERATURA.....	41
7.	ŽIVOTOPIS	47

SAŽETAK

Diplomskog rada studentice Petre Filipčić naslova

KORIŠTENJE BIOMASE INVAZIVNE BILJNE VRSTE JAPANSKI DVORNIK (*Reynoutria japonica*) U PROIZVODNJI ENERGIJE

Fosilna goriva danas predstavljaju veliki problem i zagađenje u okolišu, narušavaju bioraznolikost, uništavaju tla i povećavaju emisiju štetnih plinova u atmosferu. Proizvodnjom i korištenjem biomase u energetske svrhe smanjuje se emisija štetnih tvari i doprinosi se zaštiti tla i voda te povećanju bioraznolikosti. Biomasa je vrlo prihvatljivo gorivo s gledišta utjecaja na okoliš jer sadrži vrlo malo ili čak uopće ne sadrži brojne štetne tvari kao što su sumpor, teški metali i sl., koje se nalaze u fosilnim gorivima.

Veliki problem predstavljaju invazivne korovne vrste koje umjesto da se uklanjaju kemijski ili spaljuju mogu imati veliki energetski potencijal i tako poslužiti kao kvalitetna sirovina za proizvodnju biogoriva i bioulja.

Cilj istraživanja bio je utvrditi mogućnost korištenja biomase invazivne biljne vrste japanski dvornik (*Reynoutria japonica*) nakon njegovog uklanjanja iz prirode mehaničkim putem. Biomasa ove biljke koristila se kao sirovina za izravno izgaranje, odnosno utvrdio se njegov energetski potencijal s ciljem proizvodnje toplinske energije. Odredio se potencijal primjene procesa pirolize s ciljem proizvodnje bioulja kao energenta i biougljena kao proizvoda dodane vrijednost.

Ključne riječi: biomasa, invazivne vrste, energetski potencijal, *Reynoutria japonica*, biogorivo

SUMMARY

Of the master's thesis - student Petra Filipčić, entitled

USE OF BIOMASS INVASIVE PLANT TYPE OF JAPANESE KNOTWEED (*Reynoutria japonica*) IN ENERGY PRODUCTION

Fossil fuels today pose a major problem and pollution for the environment, they disrupt biodiversity, destroy soil and increase the emission of harmful gases into the atmosphere. Production and use of biomass for energy purposes reduces emission of harmful substances, and contributes to soil and water protection, as well as the increase of biodiversity. Biomass is a highly acceptable fuel from the environmental impact aspect, because it contains very little or none harmful substances - sulphur, heavy metals, etc., which are found in fossil fuels.

A major problem is invasive weed species which instead of being chemically removed or burning can have a high energy potential and serve as a quality raw material for the production of biofuels and bio-waste.

The aim of the research was to determine the possibility of using invasive plant species biomass Japanese counterpart (*Reynoutria japonica*) after its removal from nature by mechanical means. The biomass of this plant was used as raw material for direct combustion, and its energy potential was determined with the aim of producing heat. Potential of the pyrolysis process was determined with the aim of producing biooil as an energy source and biocoal as a value added product.

Key words: Biomass, invasive species, energy potential, *Reynoutria japonica*, biofuel

1. UVOD

Sve veći problem danas predstavlja korištenje fosilnih goriva koji imaju negativne posljedice na okoliš. Osim što nastaju velike količine stakleničkih plinova dolazi i do zagađenja tla i voda te se time utječe na smanjenje biološke raznolikosti. Danas se zemlja i čovječanstvo nalaze na kritičnoj točki donošenja odluka o energetske-ekološkoj politici koja treba definirati i omogućiti optimizaciju svih procesa, potrošnju energije i razvoja novih „*enviromental friendly*“ tehnologija koje će zajedničkim snagama minimizirati emisiju štetnih plinova u atmosferu (Matković, 2010). Korištenjem biomase dobiva se biogorivo koje se može koristiti za proizvodnju toplinske energije. Prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je neusporedivo manja emisija štetnih plinova i otpadnih tvari. Računa se da je opterećenje atmosfere s CO₂ pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo, budući da je količina emitiranog CO₂ prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog CO₂ tijekom rasta biljaka. Biomasa je dakle CO₂ neutralno gorivo. Kada se govori o korištenju biomase za proizvodnju biogoriva treba imati na umu očuvanje ekološke održivosti i paziti da se ne naruši stabilnost svjetske opskrbe hranom (Matković, 2010).

Zato se potencijal vidi u invazivnim korovnim biljnim vrstama čije naglo i brzo širenje i razmnožavanje predstavlja prepreku za uzgoj komercijalnih kultura i još niz drugih problema. Problemom invazivnih vrsta intenzivnije se počelo baviti zadnjih desetljeća. Kroz veliki europski međudržavni projekt DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe) na području Europe je zabilježeno više od 11.000 stranih svojti od kojih je izdvojeno „100 najgorih“, invazivnih, među kojima su mnoge prisutne i u Hrvatskoj (SGLMZ, 2014). Većina tih vrsta unesene su iz Sjeverne Amerike ili Azije. Strane invazivne vrste su na globalnoj razini druga najveća prijetnja bioraznolikosti, odmah nakon izravnog uništavanja prirodnih staništa (HAOP, 2017). Ubrzani rast trgovine i putovanja u dvadesetom stoljeću imao je za posljedicu širenje mnogih vrsta Zemljom te snažan kontinuiran rast broja vrsta unesenih u nove regije.

Jedna od takvih vrsta je i japanski dvornik (*Reynoutria japonica*, Houtt.), invazivna vrsta porijeklom iz Japana, a u Hrvatskoj je prvi puta službeno zabilježena u Zagrebu 1970. godine uz rubne dijelove Maksimira (Novak i sur., 2011). Pravu agresivnost pokazuje u kontinentalnim dijelovima Hrvatske gdje je rasprostranjen u svim županijama, a predstavlja problem jer stvara gusti sklop i time potiskuje okolnu vegetaciju (Novak i sur., 2011).

Zato umjesto da se japanski dvornik uklanja spaljivanjem pri čemu nastaju velike količine ugljikovog dioksida koje se apsorbiraju u zrak ili da se primjenjuju herbicidi koji za sobom ostavljaju neiskoristivo tlo za druge kulture godinama postoji mogućnost korištenja biomase japanskog dvornika za daljnju preradu i obradu čime bi se potaknuo održiv razvoj i korištenje obnovljivih izvora energije.



Slika 1. Japanski dvornik (*Reynoutria japonica*)

1.1. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja bio je utvrditi mogućnost korištenja biomase invazivne biljne vrste japanski dvornik nakon njegovog uklanjanja iz prirode mehaničkim putem. Biomasa ove biljke koristila se kao sirovina za izravno izgaranje, odnosno utvrdio se njegov energetski potencijal s ciljem proizvodnje toplinske energije kroz sadržaj vlage, udio pepela i koksa u suhoj biljci i na dobivenom produktu biougljenu. Odredio se potencijal primjene procesa pirolize s ciljem proizvodnje biouglja kao energenta i biougljena kao proizvoda dodane vrijednosti. Na kraju se analizom varijanci ANOVA prikazalo postoje li značajne razlike između lokacija za svaku ispitivanu vrijednost.

2. PREGLED LITERATURE

2.1 ODRŽIVI RAZVOJ I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Održivi razvoj nastaje kao pojam na svjetskom nivou krajem 20. stoljeća. On je, kao jedan od osnovnih globalnih principa zaštite životne sredine, utvrđen Rio deklaracijom UN-a o životnoj sredini i održivom razvoju, usvojenoj na konferenciji Ujedinjenih naroda u Rio de Janeiru 1992. godine (Heleta, 2010). Pod tim pojmom se podrazumijeva da se dinamika ljudskih djelatnosti mora prilagoditi dinamici životne sredine, na način da se zadovoljavanjem potrebe sadašnjih generacija ne ugrožava pravo i mogućnost budućih generacija na povoljnije uvjete života.

Obnovljivi izvori energije u hrvatskom se Zakonu o energiji definiraju kao: „izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, posebno energija vodotoka, vjetra, neakumulirana sunčeva energija, biodizel, biomasa, bioplin, geotermalna energija“ (Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti, 2017). Obnovljivi izvori energije nisu ništa novo u svijetu, postoje još od davnih vremena i prije upotrebe fosilnih goriva, bili su glavni izvori energije. Sve vodeće zemlje svijeta upozoravaju na prekomjernu upotrebu fosilnih goriva i na posljedice koje dolaze sa njihovim korištenjem. Preporuka je da bi se trebalo okrenuti obnovljivim izvorima energije jer su njihove zalihe neograničene, ne zagađuje se okoliš i potiče se održiv razvoj.

Obnovljivi izvori energije imaju važnu ulogu u smanjenju emisije ugljikovog dioksida u atmosferu. Također, povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetske održivost i smanjuje ovisnost o uvozu energetskih sirovina i električne energije (Heleta, 2010).

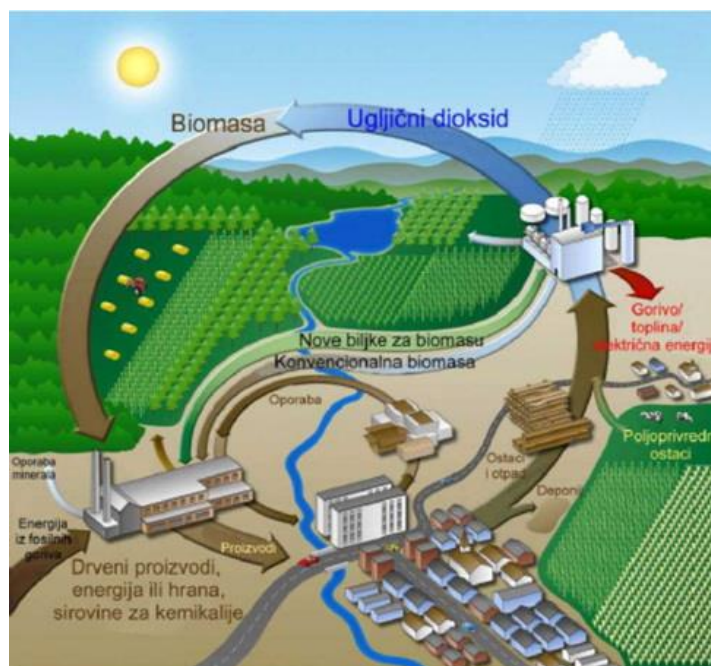
2.2. BIOMASA

Biomasa, prvi i najstariji izvor energije koji su ljudi koristili, danas je obnovljivi izvor energije koji ima veliki potencijal za iskorištavanje i koji može pridonijeti zaštiti okoliša, otvaranju novih radnih mjesta i ukupnom gospodarskom razvitku cijele zemlje (Sušnik i sur., 2007).

Općenito se može podijeliti na drvnu, nedrvnu i životinjski otpad, unutar čega se može razlikovati:

- drvna biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo)
- drvna uzgojena biomasa (brzorastuće drveće)
- nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuće alge i trave)
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede
- životinjski otpad i ostaci
- gradski i industrijski otpad (Sušnik i sur., 2007).

Biomasa je treća po veličini primarna energija u svijetu, nakon nafte i ugljena. Možemo je naći u čvrstom (peleti, briketi), plinovitom (bioplin) i tekućem stanju (biodizel, bioetanol). Glavna razlika biomase u odnosu na fosilna goriva kod ispuštanja stakleničkih plinova je u zatvorenom ugljičnom ciklusu kod biomase. Biomasa uklanja znatan dio CO₂ emitiranog u atmosferu kod obrade, izgaranja i uporabe. To se manifestira iz činjenice da prilikom rasta biljke uzimaju iz atmosfere ugljični dioksid i da prilikom sagorijevanja to ispuštaju (Slika 2).



Slika 2. Pojednostavljeni ciklus biomase
Izvor: BIOEN, 2010.

Kod fosilnih goriva radi se o jednosmjernom procesu gledano iz perspektive životnog vijeka – ugljični dioksid se samo ispušta, nema procesa vraćanja natrag u zemlju (Izvori energije, 2012). U posljednje vrijeme postaje sve više očito da je današnji pristup energiji neodrživ. Od svih obnovljivih izvora energije, najveći se doprinos u bližoj budućnosti očekuje od biomase. Biomasa, kao i njezini produkti tekuća biogoriva i bioplin, nije samo potencijalno obnovljiva, nego i dovoljno slična fosilnim gorivima da je moguća izravna zamjena (Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva, 2017).

Energija iz biomase dobiva se biokemijskim procesom poput fermentacije pri čemu se dobivaju etanol, bioplin i sl., i termokemijskim procesom poput spaljivanja (Izvori energije, 2012).

Najvažnije svojstvo biomase je obnovljivost što joj daje veliku prednost ispred fosilnih goriva. Smatra se obnovljivim samo ukoliko je godišnje ukupno iskorištenje jednako ili manje od godišnjeg prirasta biomase. Biomasa pomaže smanjiti ukupne emisije stakleničkih plinova u atmosferu i time znatno pridonosi u borbi protiv klimatskih promjena. Iako je biomasa povezana s određenim nivoima ispuštanja stakleničkih plinova, to je puno manje nego kod fosilnih goriva (Izvori energije, 2012).

Ogrjevna vrijednost govori o tome koliko je kemijske energije vezano u gorivu svedeno na standardno stanje okoline. Biomasa je kruto gorivo koje se sastoji od gorivih tvari koje čine vodik, sumpor i ugljik, dok su negorive tvari kisik, dušik, primjese koje čine pepeo i vlaga. S povećanjem vlage u biomasi smanjuje se ogrjevna vrijednost neke kulture. Pepeo se sastoji od nesagorivih mineralnih čestica i što je veći udio pepela gorivo je lošije. Uz navedene elemente, za kakvoću goriva neophodno je istražiti i sadržaj koksa, fiksirani ugljik i hlapive tvari. Dio koksa kao ostatka suhe destilacije, ukazuje da se njegovim povećanjem proporcionalno povećava kvaliteta goriva. Fiksirani ugljik je jedan od najvažnijih dijelova goriva i predstavlja čvrsto vezani ugljik. Goriva s većom razinom hlapivih tvari imaju manju energetska vrijednost odnosno trebaju više energije za paljenje od goriva s manje hlapivih tvari. Svi ovi elementi imaju utjecaja na ogrjevnju vrijednost goriva (MJ/kg), koja predstavlja količinu topline koja se dobiva pri izgaranju. Kod utroška energije za pridobivanje treba paziti na racionalnost upotrebe. Poželjno svojstvo biomase je kumulativna CO₂ neutralnost koja se može postići samo ako je godišnje iskorištavanje biomase manje ili jednako od prirasta nove mase. Emisija CO₂ bit će jednaka emisiji tijekom procesa fotosinteze te biomase. Biomasa ima mogućnost skladištenja i transportiranja bez prevelikih troškova.

Osim što omogućava učinkovito zbrinjavanje otpada i proizvodnju energije uz minimalan utjecaj na okoliš, pruža i mogućnost za otvaranje većeg broja radnih mjesta. Vodeći europski političari postali su svjesni dodatnih koristi koje donosi uporaba biomase, naročito u smislu da se otvore radna mjesta i razvije snažna industrija namijenjena izvozu. Na razini Europske unije se u 2020. godini predviđa proizvodnja energije iz biomase od 113 Mtoe čime bi se stvorile mogućnosti za otvaranje čak oko 1 500 000 novih radnih mjesta (Sušnik i sur., 2007). Svim tim navedenim prednostima potiče se uravnoteženost u poljoprivredi.

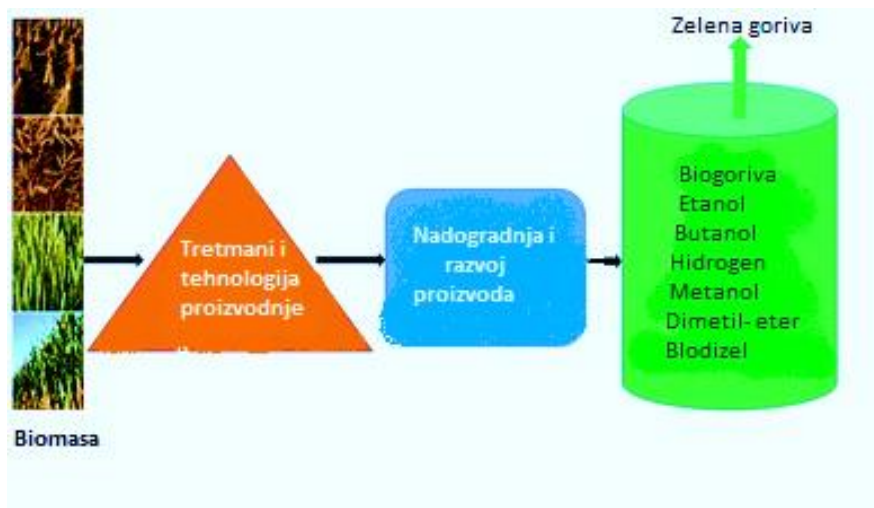
Međutim, pored svih navedenih prednosti koje posjeduje biomasa, postoje i određeni nedostaci. Jedan od glavnih nedostataka biomase je njena periodičnost nastajanja. Drugi, ali ne i manje bitan nedostatak je taj što je za proizvodnju biomase potrebna velika površina, što predstavlja opasnost od narušavanja bioraznolikosti. Visoka su ulaganja za postrojenja za preradu, pripremu i izgaranje biomase (Božović, 2016).

Velika potrošnja energije kao i fosilnih goriva daje sve veću važnost istraživanjima alternativnih načina proizvodnje energije. Veliku ulogu u tim istraživanjima ima proizvodnja energije i goriva iz poljoprivredne biomase. Osim što se korištenjem biomase dobiva energija,

također se na ekološki prihvatljiv način zbrinjava i iskorištava otpad iz poljoprivrede (Jurišić i sur., 2016).

McKendry (2002) navodi tri osnovna načina pretvorbe biomase: termokemijska, biokemijska i mehanička ekstrakcija s esterifikacijom. Biokemijske pretvorbe uključuju alkoholnu fermentaciju i anaerobnu digestiju, dok pod termokemijske načine spadaju izgaranje, uplinjavanje i piroliza. Zbog svojih prednosti u skladištenju, transportu i prilagodljivosti u upotrebi, piroliza je najzanimljiviji način dobivanja tekućeg goriva. Trenutno biomasa predstavlja četvrti najveći izvor energije nakon nafte, ugljena i plina te se od nje proizvodi oko 14 % ukupne proizvodnje za energijom godišnje (Garcia i sur., 2012).

Na slici 3. prikazan je pojednostavljeni prikaz dobivanja različitih proizvoda iz biomase iz čega je vidljivo da različitim tretmanima i tehnologijom proizvodnje, nastaju zelena goriva koja se dalje upotrebljavaju za različite svrhe.



Slika 3. – Pretvorba biomase
Izvor: pub, 2016.

2.3. PIROLIZA

Piroliza je termička razgradnja organske tvari u anaerobnim uvjetima, odnosno u uvjetima bez prisustva kisika. Proces pirolize organske tvari je vrlo kompleksan te se sastoji od različitih simultanih i sukcesivnih reakcija prilikom zagrijavanja organske tvari u reaktivno neutralnom okruženju. Termalna razgradnja organske tvari započinje na 350 – 550°C te se odvija do 700 -

800°C u anaerobnim uvjetima (Fisher i sur., 2002). Dugi lanci ugljika, vodika i kisika se u sastavu biomase razbijaju na manje molekule u obliku plinova, kondenzirajućih para (katrana i ulja) te ugljena (Jahirul i sur., 2012). Glavni produkti pirolize biomase su biougljen, bioulje te rezidualni plinovi.

Jahirul i sur. (2012) pirolizu, ovisno o uvjetima upotrebe, klasificiraju na sporu (konvencionalnu), brzu te flash pirolizu. Osnovne razlike između navedenih su u temperaturi izgaranja, brzini zagrijavanja, vremenu zadržavanja krutine i veličini čestica biomase.

Biougljen se definira kao proizvod bogat ugljikom, dobiven nakon procesa pirolize pri termičkoj razgradnji biomase na temperaturama između 350 i 700 °C (Glaser i sur., 2001). Udio biougljena u produktima pirolize proporcionalan je udjelu lignina i hemiceluloze u biomasi. Ovisno o vrsti pirolize, udio biougljena u konačnom produktu iznosi između 10-35%. Glavninu sastava biougljena čine ugljik uz kisik te različiti anorganski spojevi (Jahirul i sur., 2012). Kemijske i fizikalne karakteristike biougljena ovise o karakteristikama sirovine koja se upotrebljava za proizvodnju te o načinu na koji se proces pirolize provodi (temperatura, vrijeme, predtretman). Bioulje je tekući produkt pirolize sa 40-50% gorive vrijednosti ugljikovodikovih goriva. Osnovne prednosti bioulja kao energenta je CO₂ neutralnost, mogućnost iskorištenja u malim i velikim postrojenjima za proizvodnju električne energije, jednostavno skladištenje i transport, potencijal iskorištenja u postojećim elektranama (Balat i sur., 2009, Chiaramonti i sur., 2007).

2.4. INVAZIVNE STRANE VRSTE

Pod pojmom invazivne strane vrste podrazumijevaju se biljke koje su namjerno ili nenamjerno unesene u područja izvan njihovog prirodnog staništa. Te vrste pokazuju veoma brzu prilagodbu uvjetima u novom i stranom okolišu, ali i veliku sposobnost razmnožavanja i veliku brojnost. Kako je tehnologija sve više napredovala i otvoreni su putevi između kontinenata, unošenje i širenje invazivnih vrsta bilo je lakše (Novak i sur., 2011). Takve vrste na svojem su novom staništu morale proći proces udomaćivanja. Neke su pokazale odličnu prilagodbu i sposobnost da ostanu na tom području, a neke nisu mogle dugo opstati u novoj okolini. Kada

se prilagode, prođu proces udomaćivanja i svladaju zemljopisne i okolišne prepreke, spremne su za dalje širenje i razmnožavanje i tada postaju invazivne vrste. Šire se, razmnožavaju i integriraju u prethodno „neinficirana“ staništa, obično ona koja su pod utjecajem čovjeka izbačena iz prirodne ravnoteže, ali i ona koja postaju ugrožena sekundarno, klimatskim promjenama (Novak i sur., 2011). Stranu invazivnu vrstu gotovo nikad nije moguće ukloniti iz staništa u koje se proširila, osim možda na otocima te na ograničenim dijelovima kopna. Šire se agresivno i brzo, utječu na smanjenje bioraznolikosti, uništavaju okoliš, štete drugim poljoprivrednim, šumarskim ili ratarskim kulturama i tako utječu na štete u šumarstvu, poljoprivredi, stočarstvu.

Jednu od najvećih poteškoća u borbi protiv invazivnih stranih vrsta predstavlja rano otkrivanje njihova štetna utjecaja, jer se on često otkrije mnogo godina nakon njihova unošenja (slučajnog ili namjernog), kada je najčešće prekasno za učinkovito djelovanje (Novak i sur., 2011).

Jedan od najvećih problema u suzbijanju širenja invazivnih stranih vrsta je kasno otkrivanje štetnih utjecaja nakon introdukcije, kada može biti prekasno za efikasno djelovanje. Primjeri iz Hrvatske su širenje biljnih vrsta ambrozije (*Ambrosia artemisiifolia*) i čivitnjače (*Amorpha fruticosa*).

Europska organizacija za zaštitu bilja (EPPO) razvila je strategiju suradnje širom Europe sa svrhom zaštite od stranih invazivnih vrsta. Stručnjaci ove organizacije izradili su popis invazivnih stranih biljnih vrsta koje su ocijenjene kao važna prijetnja za biljno zdravlje, okoliš i biološku raznolikost na EPPO području, kojem pripada i Republika Hrvatska (Novak i sur., 2011).

Zakon o zaštiti prirode preuzeo je najvažnije odrednice iz međunarodnih sporazuma vezane uz strane invazivne vrste. One podrazumijevaju prevenciju širenja, kontrolu i po mogućnosti iskorjenjivanje stranih vrsta koje predstavljaju prijetnju ekosustavima, staništima i vrstama (NN 80/13).

Novak i sur. (2011) navode da je u 11 hrvatskih županija utvrđena nazočnost 13 vrsta s EPPO Liste invazivnih stranih korovnih vrsta te jedne vrste s EPPO Akcijske i EPPO A2 Liste. U flori Hrvatske za je sada zabilježeno 64 invazivnih vrsta i podvrsta iz 27 porodica, osobito brojnih u porodicama glavočika (*Asteraceae*), trava (*Poaceae*) i pomoćnica (*Solanaceae*). U različitom obujmu, u priobalnom pojasu i otocima pojavljuje se 48 invazivnih vrsta i podvrsta.

Zakonom o zaštiti prirode zabranjeno je uvođenje stranih vrsta u prirodu na područje Republike Hrvatske i u ekološke sustave u kojima prirodno ne obitavaju, osim iznimno na temelju dopuštenja Ministarstva u slučajevima kada je uvođenje znanstveno i stručno utemeljeno te prihvatljivo s gledišta zaštite prirode i održivog gospodarenja (NN 80/13).

Metode uklanjanja invazivnih vrsta možemo podijeliti na mehaničke i kemijske metode. Mehaničke metode podrazumijevaju mehaničke postupke uklanjanja invazivnih vrsta s površina i sprječavanje njihovog širenja na druga područja. Ove metode učinkovite su kod vrsta ograničene rasprostranjenosti i koje je lagano opaziti no nemaju utjecaja na brzo pokretne vrste, koje se brzo razmnožavaju te ih je teško opaziti. Kemijske metode uklanjanja invazivnih vrsta uključuju primjenu različitih kemijskih sredstava, najčešće otrova kako bi uklonile invazivne vrste s nekog područja (insekticidi, herbicidi). Iako kemijske metode mogu biti učinkovite prilikom uklanjanja i suzbijanja invazivnih vrsta, one su često neselektivne, tj. mogu naškoditi i mnogim drugim, neciljanim vrstama. Ove metode zahtijevaju znatna financijska sredstva, a postoji mogućnost da invazivna vrsta razvije tolerantnost prema kemijskom sredstvu kojim se tretira. Biološke metode provode se pomoću drugih živih organizama. Ovi organizmi koriste invazivne vrste za hranu ili im prenose bolesti. Budući da kontrolni organizmi najčešće potječu iz zavičajnih staništa invazivnih vrsta, njihovoj se primjeni mora izuzetno oprezno pristupiti kako i one same ne bi postale invazivne, tj. kako ne bi počinile jednaku ili veću štetu od vrsta koje bi trebale kontrolirati. Zbog toga je prije bilo kakvog unosa novog organizma koji bi trebao služiti kao biološka kontrola na neko područje potrebno provesti čitav niz istraživanja i pokusa (HAOP, 2017).

2.5. *Reynoutria japonica* (japanski dvornik)

Vrsta *Reynoutria japonica* višegodišnja je biljka grmolikog izgleda podrijetlom iz Azije, a unesena je u Sjevernu Ameriku i Europu radi sprječavanja erozije. Koristila se i kao ukrasna biljka za perivoje i gradske vrtove. Pripada porodici *Polygonaceae* (dvornici). Među od ove biljke je blagog okusa te je zbog toga jako cijenjena među pčelarima. Spada u invazivnu stranu vrstu koja se vrlo brzo širi i razmnožava. Japanski dvornik utječe na sastav tla mijenjanjem omjera hranjiva i lučenjem alelokemikalija (Rouifed i Piola, 2009).

Ova vrsta proglašena je najgorom svjetskom invazivnom vrstom (Kolar- Fodor, 2015). Od 15 vrsta iz roda dvornika, samo japanski (*Reynoutria japonica*, syn. *Fallopia japonica*) pokazuje osobine korova (Šneler, 2011). Nekad se uzgajala kao krmno bilje slično kao sahalinski dvornik (*R. sachalinensis* F. Schmidt ex Maxim) kojeg nalazimo samo kao ostatak stare kulture jer se sam neovisno od čovjeka uglavnom ne širi. Na botaničkom simpoziju 2016. godine upozoreno je na pojavu invazivne vrste *R. x bohemica* Chrtek et Chrtkova (*Polygonaceae*) u Hrvatskoj (Vuković i sur. 2016). To je hibrid između *R. japonica* i *R. sachalinensis*.

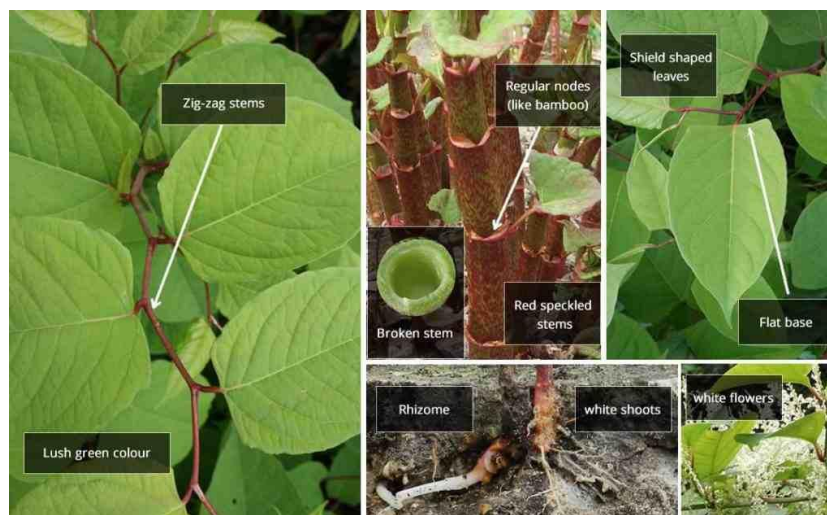
2.5.1. Morfologija

Japanski dvornik je višegodišnja zeljasta biljka visoka do 3 m. Rizom (podzemna stabljika) je jako razvijen, i može se u stranu širiti do 7 metara, a u dubinu do 3 metra. Glavni izdanci izlaze iz glavičasto jako odebljalog dijela rizoma (30 x 30 cm), što je spremište hranjivih tvari preko zime i iz ovog odebljanja se grana i rizom. Tokom vremena, rizom odrveni, odeblja i višegodišnja je tvorevina (Šneler, 2011). Jednogodišnje stabljike su snažne i šuplje, a u gornjem dijelu razgranate i često posute crvenkastim pjegama te tvore gusti sklop. Listovi japanskog dvornika su široko ovalni, pa ga ponegdje nazivaju slonovo uho ili magareća rabarbara, a dugi su od 6 do 10 cm i do 10 cm široki, te čvrsti, široko ovalni, na bazi malo podrezani, a naglo se sužavaju u šiljasti vrh (Šneler, 2011). U pazušcima listova razvijaju se 8-12 cm duge, rahle metlice sastavljene od čuperaka koji sadrže 2-4 cvijeta. Cvjetovi su jednospolni na dvodomnim biljkama, kremasto-bijeli. Ženski cvjetovi sadrže i zakržljale prašnike, dok muški cvjetovi mogu imati zakržljalu plodnicu (Nikolić i sur., 2014). Ocvjeće je sraslo, s 5 jednakih vršaka od

kojih su vanjska 3 grebenasta (Nikolić i sur., 2014). U muškom se cvijetu razvija 8 prašnika. Tučak je građen od tri plodna lista s tri produžena vrata tučka i resastim njuškama. Cvjeta od srpnja do rujna, a oprašuje se kukcima (Nikolić i sur., 2014). Plodovi su 0,5 cm veliki sjajni trobridni oraščići (Novak i sur., 2010). Biljka se uspješno razmnožava kako sjemenom tako i reznicama rizoma – korjenjacima (Šneler, 2011). Na slici 4 i 5 prikazani su detalji biljnih dijelova japanskog dvornika.



Slika 4. – Cvat japanskog dvornika
Izvor: nyflora, 2016.

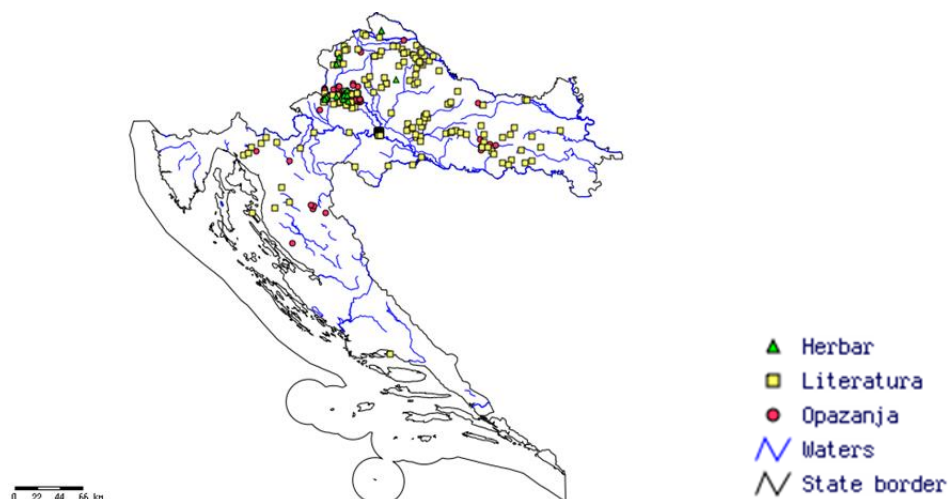


Slika 5. – Stabljika, listovi, rizom vrste *Reynoutria japonica*
Izvor: quantumjk, 2017.

Japanski dvornik je prvi puta u Hrvatskoj zabilježen u Zagrebu 1970. godine (Novak i sur., 2010) gdje je i danas nazočan na mnogo lokacija. Japanski dvornik je pionirska vrsta vulkanskih terena, tolerira različitu kiselost tla, pH = 3-8,5 pa mu stoga pogoduju kisele kiše i primijećeno je da se širi po cijeloj Hrvatskoj (Šneler, 2011). Preferira vlažno tlo, termofilna je vrsta te veoma dobro podnosi veće koncentracije dušika i teških metala. Lučenjem toksičnih tvari onemogućava rast drugim biljkama (Peng i sur. 2013).

Staništa koja naseljava kod nas su područja blizu rijeka i potoka, zapušteni tereni i grmljaci, uz ceste, po naseljima, no osjetljiv je na vapnenasto tlo. Vidljiv je utjecaj ljudskog djelovanja na širenje ove vrste, posebno u Lici i Gorskom kotaru gdje su nalazi vezani isključivo uz naseljena mjesta. Čest je ukras okućnica, a kada se pretjerano širi, režu ga, odbacuju i tako razmnožavaju (Novak i sur., 2010).

Na slici 6. prikazana je rasprostranjenost japanskog dvornika u Republici Hrvatskoj.



Slika 6.- Karta rasprostranjenosti vrste *Reynoutria Japonica* u Republici Hrvatskoj

Izvor: Flora Croatica Database, 2017.

Invazivna vrsta japanski dvornik je medonosna i ukrasna vrsta koja stabilizira pokretna tla uz riječne obale, ali mijenja tlo fizički i kemijski, inhibira rast ostalih biljaka, oduzima svjetlost, prilagodljiva je skoro svim mogućim stanišnim uvjetima, uništava domaću floru i faunu i otporna je na pokušaje iskorjenjivanja (Novak i sur., 2010).

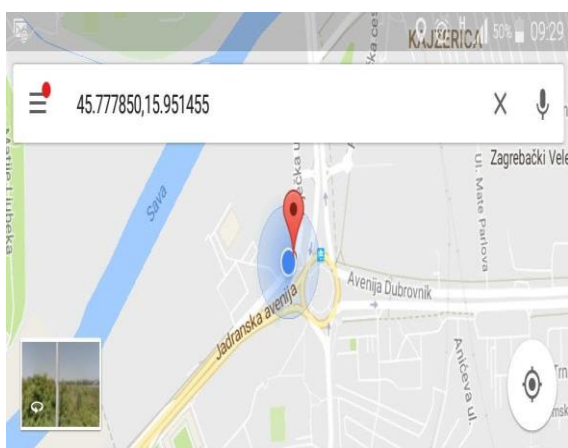
Lako se širi u stranim staništima zbog odsustva predatora. Svojim brzim rastom i snažnim podankom može razoriti ljudske tvorevine poput nasipa, građevina, čak temelje kuća. Po nekim podacima smatra se da se njegovi izdanci uporno pojavljuju na istim mjestima već 130 godina. Zbog toga mnogi smatraju japanskog dvornika kao jednog od najopasnijih korova (Novak i sur., 2010).

3. MATERIJALI I METODE

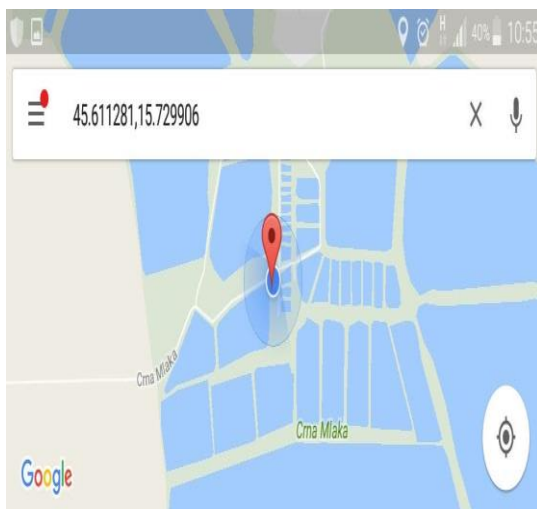
3.1. MATERIJALI

Istraživanje je provedeno na području grada Zagreba i Zagrebačke županije. Biljke su sakupljene na pet lokacija po pet uzoraka sa svake lokacije. Na svakoj lokaciji sakupljeni su uzorci listova, gornjeg i donjeg dijela stabljika bez korijena. Na slikama su navedene pojedine lokacije na karti s ucrtanim geografskim širinama i dužinama i slika biljke sa svake lokacije.

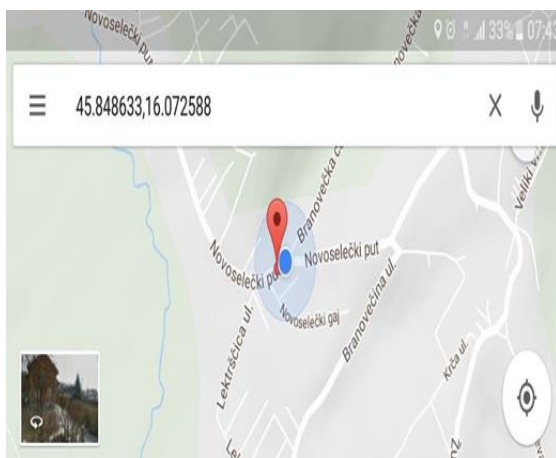
Lokacija 1.- Zagrebačka gradska četvrt Kajzerica (geografska širina 45,777850, geografska dužina 15,951455)



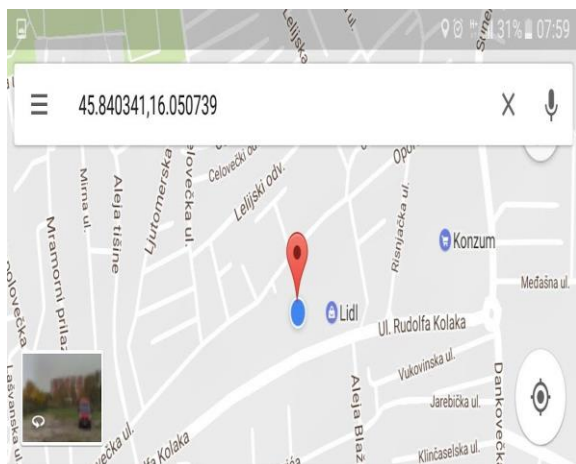
Lokacija 2.- Crna mlaka, Zagrebačka županija (geografska širina 45,611281, geografska dužina 15,729906)



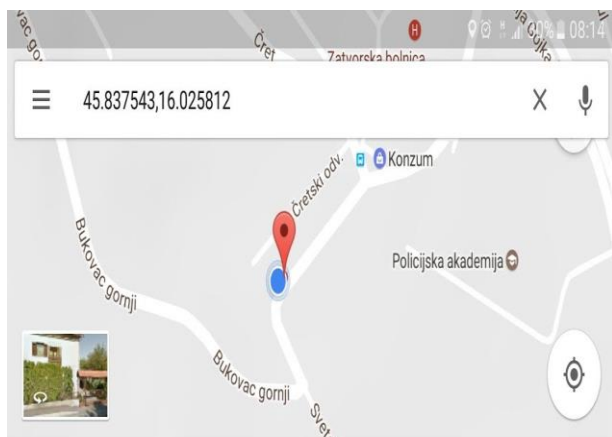
Lokacija 3.- Zagrebačko naselje Novoselec (geografska širina 45,848633, geografska dužina 16,072588)



Lokacija 4.- Zagrebačka gradska četvrt Gornja Dubrava (geografska širina- 45,840341, geografska dužina 16,050739)



Lokacija 5. – Zagrebačka četvrt Maksimir - Svetošimunska cesta (geografska širina 45,837543, geografska dužina 16,025812)



3.2. METODE

Provedene analize odrađivale su se na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu, u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport.

3.2.1. Priprema, mljevenje i prosijavanje uzoraka

Nakon prikupljanja uzoraka, slijedila je njihova priprema za mljevenje i usitnjavanje. Uzorci su sa svake lokacije posebno išli u laboratorijski mlin i tamo su se usitnjavali do željene veličine. Na slici 7 prikazana je suha tvar japanskog dvornika u laboratorijskom mlinu.



Slika 7.- Suha tvar u laboratorijskom mlinu

Nakon što su samljeveni, uzorci su ostavljeni na sobnoj temperaturi da se prosuše te su nakon toga bili spremni za prosijavanje i dobivanje konačnih količina uzoraka za daljnji rad. Na slici 8 prikazani su uzorci spremni za sušenje.



Slika 8.- Stavljane uzoraka na prirodno sušenje

3.2.2. Sadržaj vode

Uzeti su uzorci sasjecane svježe biomase sa pojedine lokacije. Nakon što su izvagani, stavljeni su na sušenje 4 sata pri temperaturi od 100°C. Uzorci su nakon sušenja ponovo izvagani te je izračunat udio vode u biomasi. Određivao se i sadržaj vode u suhoj tvari po istom principu. Na slici 9 prikazan je laboratorijski sušionik.



Slika 9. - Laboratorijski sušionik

3.2.3 Sadržaj pepela

Nakon potpunog izgaranja, ostaje pepeo koji je anorganski dio goriva. Za njegovo određivanje potrebno je oko 1,5 g uzorka koji se odvagane u porculanski lončić. Nakon toga porculanski lončić se stavlja u mufolnu peć (Nabertherm Controller B170, Njemačka). Uzorci ostaju u peći

pri temperaturi od oko 550°C, tijekom pet sati ili do konstantne mase, odgovarajući standardnoj metodi CEN/TS 15148:2009. Na slici 10 prikazana je laboratorijska mufolna peć.



Slika 10. - Mufolna peć

3.2.4. Sadržaj koksa

Od svakog uzorka izvagano je oko 1,5 g i stavljeni su u porculanske čašice koje su se potom stavljale u mufolnu peć (Nabertherm Controller B170, Njemačka) na temperaturu od $900 \pm 10^\circ\text{C}$ u trajanju od 4 minute, sukladno standardnoj metodi za određivanje koksa (CEN/TS 15148:2009).

3.2.5. Fiksirani ugljik

Fiksirani ugljik je kruti ostatak koji ostane nakon zagrijavanja uzorka i isparavanja hlapivih komponenti. On predstavlja količinu fotosintezom vezanog ugljika u biomasi. Povećanjem fiksiranog ugljika povećava se ogrjevna vrijednost energenta.

Određuje se računski:

$$\text{Fiksirani ugljik} = \text{koks} - \text{pepeo} (\%)$$

3.2.6. Hlapive tvari

Hlapljive tvari su tvari koje sagorijevanjem ne daju toplinsku energiju. U usporedbi s klasičnim ugljenom koji ima svega do 20 % hlapivih tvari, u biomasi ih ima do 80 %. Udio hlapivih tvari

provodi se prema protokolu (CEN/TS 15148:2009). Pojam hlapivih tvari odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava pri visokim temperaturama, ne isključujući vodenu paru. Hlapiva tvar sadrži zapaljive (C_xH_y plinovi, CO i H_2) i nezapaljive plinove (CO_2 , SO_2 i NO_x). Vrijednosti se kreću oko 75%, ali one mogu narasti do 90%, ovisno o uzorku (Khan i sur., 2009).

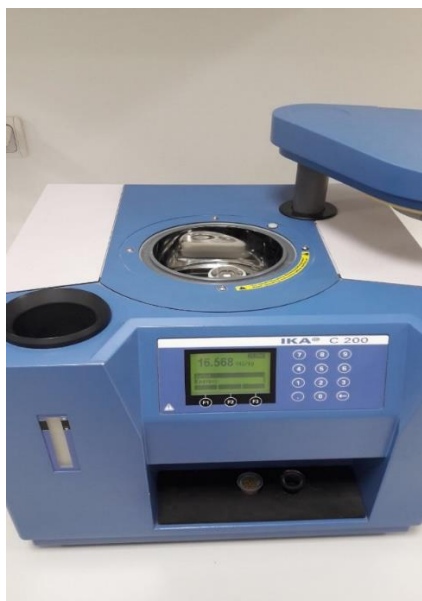
3.2.7. Celuloza, hemiceluloza i lignin

Analiza udjela celuloze, hemiceluloze i lignina provela se na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu prema modificiranoj standardnoj metodi (ISO 5351-1:2002).

3.2.8. Kalorimetrija

Kalorimetrija ili ogrjevna vrijednost govori o tome koliko je kemijske energije vezano u gorivu svedeno na standardno stanje okoline. Razlikujemo donju ogrjevnju vrijednost H_d (LHV1) i gornju ogrjevnju vrijednost H_g (HHV2). Ogrjevne vrijednosti su osnovni parametri za proračun energije i potencijala biomase, kao i temeljni parametar za klasifikaciju kvalitete samog energenta.

U kvarcnu posudicu je odvagano oko 0,5 g uzorka koji je zatim stavljen u kalorimetrijsku bombu i spaljen. Optimalna temperatura za spaljivanje je od 21 do 25°C. Gornja ogrjevna vrijednost dobivena je korištenjem IKA C200 programskog paketa. Laboratorijski kalorimetar prikazan je na slici 11.

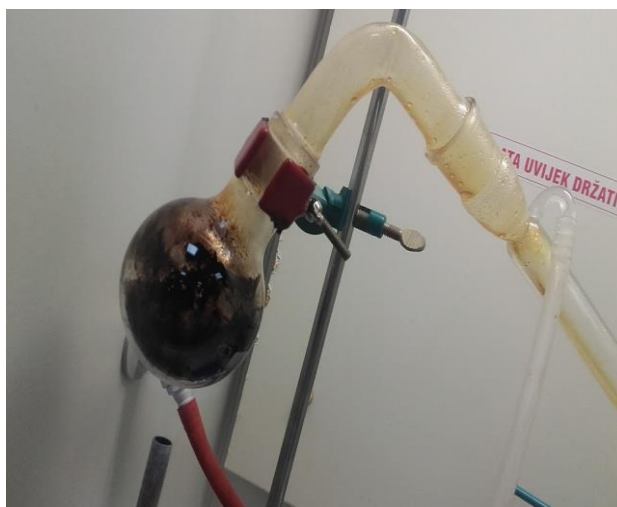


Slika 11.- Kalorimetar

3.2.9. Proces pirolize

Proces pirolize uzoraka proveo se pri temperaturi od približno 400°C u trajanju od 1,5 h po svakoj lokaciji, pri čemu je utvrđen udio proizvedenog biougljena i bioulja (računski).

Piroliza je proces kemijske razgradnje organskih tvari djelovanjem topline na visokoj temperaturi, bez prisutnosti kisika pri čemu u ovom slučaju nastaju produkti bioulje i biougljen (slika 12).



Slika 12.- Proces nastanka biougljena

Pri temperaturi od oko 400°C proveo se postupak pirolize. Po 10 g uzorka sa svake lokacije stavljeno je u okruglu tikvicu koja je bila spojena sa koljenom i Liebigovim hladilom sa lijevkom za odjeljivanje. Ispod tikvice korišten je plinski plamenik (Slika 13).



Slika 13.- Piroliza

Procesom pirolize nastali su produkti biougljen i bioulje.

Udio biougljena izračunao se po formuli :

$$\frac{m(\text{lijevka sa biougljenom}) - m(\text{lijevka prije pirolize})}{10 \text{ g uzorka}} * 100 \%$$

Udio bioulja izračunao se po formuli:

$$\frac{m(\text{tikvice sa biouljem}) - m(\text{lijevka prije pirolize})}{10 \text{ g uzorka}} * 100 \%$$

Sastav biougljena se potom analizirao gore navedenim standardnim metodama za čvrsta biogoriva.

3.2.10. Statistička analiza rezultata

Nakon provedenih analiza u laboratoriju i nakon dobivenih rezultata, provedena je analiza varijance ANOVA sa mogućnošću 5% pogreške ($p < 0,05$). Utjecaj je označen kao signifikantan (statistički značajan) ukoliko je vjerojatnost prihvatanja nulte hipoteze (H_0) da su srednje vrijednosti svih vrsta jednake bila manja od 5% ($p < 0.05$).

Razlike između aritmetičkih sredina pojedinih vrsta, za svojstva za koja se njihov utjecaj pokazao signifikantnim, testirane su LSD testom uz Bonferronijevu korekciju. Početni prag signifikantnosti bio je 5% (0.05).

4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom istraživačkom radu, analiza se vršila na invazivnoj stranoj vrsti *Reynoutria japonica* (japanski dvornik). Uzorci koji su analizirani prikupljeni su početkom mjeseca lipnja na području grada Zagreba i Zagrebačke županije, točnije na području Crne Mlake. Uzorci su se prikupljali prije cvatnje, koja je za ovu kulturu karakteristična početkom kolovoza.

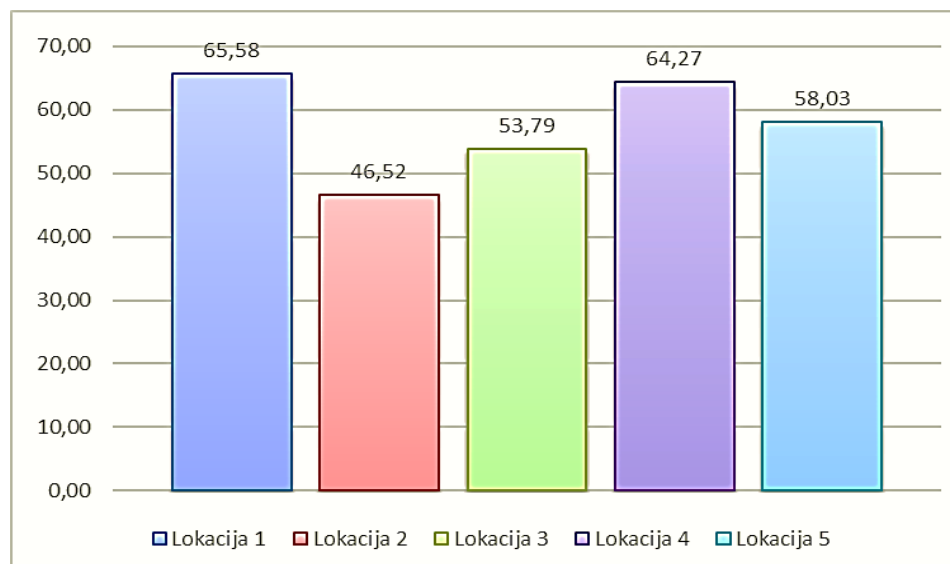
Sadržaj vode jedan je od najvažnijih parametara kada se govori o gorivim svojstvima. O njemu ovisi koliko će se energije pri gorenju potrošiti na isparavanje vode iz biomase. O sadržaju vode ovisi razlika između ogrjevnih vrijednosti (Ross, 2008). Optimalni sadržaj vode u suhom uzorku kreće se od 10 - 15% uzevši u obzir izgaranje biomase. U tablici 1. prikazana je analiza varijanci ANOVA za sadržaj vode u svježem uzorku.

Tablica 1. Analiza varijanci za sadržaj vode u svježem uzorku

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	14	1 364,14			
Između	4	737,31	184,32	2,94ns	F _{tab} 0,05=3,48
Unutar (ostatak)	10	626,83	62,68		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. To znači da između lokacija ne postoje značajne razlike stoga nije potrebno provoditi LSD test.

Sadržaj vode kreće se od 46,52 - 65,85 % što je vidljivo na grafu 1.



Graf 1.- Prikaz sadržaja vode u svježoj biomasi

U tablici 2. prikazana je analiza varijanci ANOVA za sadržaj vode u suhom uzorku.

Tablica 2.- Analiza varijanci za sadržaj vode u suhom uzorku

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	14	284,14			
Između	4	282,37	70,59	398,81**	F _{tab} 0,05=3,48
Unutar (ostatak)	10	1,77	0,177		

Prema dobivenim rezultatima postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Kako je razlika signifikantna, potrebno je provesti LSD test, a rezultati analize prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. LSD test udjela vode u suhoj tvari

Lokacija	Aritm.s./SD	LSD test	LSD test
D1.	12,93±0,64	1.-2.ns	2.-4.*
D2.	12,93±0,08	1.-3.*	2.-5.ns
D3.	8,01±0,32	1.-4.*	3.-4.*
D4.	6,78±0,43	1.-5.ns	3.-5.ns
D5.	19,02±0,21	2.-3.*	4.-5.ns

Prema LSD testu ne postoje značajne razlike između lokacija osim između lokacija D1-D3, D1-D4 gdje D1 ima veći prosjek i između lokacija D2 i D3, gdje D2 ima veći prosjek, te između lokacija D3-D4 gdje veći prosjek ima D3.

McKendry (2002) navodi sadržaj vode kod biomase drva u vrijednosti od 20%, a kod stabljike ječma 30% te pšenice 16%. Eriksson i sur. (2012) su dobili vrijednosti od 12% kod slame pšenice, a Vassilev i sur. (2010) za pšenicu navode sadržaj vode od 10,1%.

Usporedno s literaturnim podacima Vassilev i sur. (2010), koji navode sadržaj vode u biomasi trave *Miscanthus x giganteus* od 11,4%, McKendry (2002) u vrijednosti od 11,5%, Collura i sur. (2006) od 9,6% te Garcia i sur. (2012) od 7,53%, udio vode u suhoj tvari kreće se od 6,78 do 19,02 % i iz toga je vidljivo da sve lokacije imaju prihvatljive vrijednosti za dobru energetska iskoristivost osim lokacije D5 što je prikazano na tablici 3.

Tablica 4. Analiza varijanci za sadržaj pepela u suhom uzorku

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	14	22,4			
Između	4	11,25	2,81	2,53ns	F _{tab} 0,05=3,48
Unutar (ostatak)	10	11,15	1,11		

Kod sadržaja pepela bitno je da je ono što manje kako bi bilo što kvalitetnije. Vrijednosti sadržaja pepela biomase kreću se u rasponu od 5 do 20% (Yao i sur, 2005). Goriva s nižim udjelom pepela bolja su za termičko iskorištenje jer manje količine pepela olakšavaju njegovo uklanjanje, transport i skladištenje, kao i iskorištenje i odlaganje (Krička, 2014).

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se tvrdi sa 95% sigurnošću. To znači da između lokacija ne postoje značajne razlike stoga nije potrebno provoditi LSD test. U tablici 5. prikazani su rezultati sadržaja pepela na svakoj lokaciji.

Tablica 5. Sadržaj pepela u suhoj tvari

Lokacija	Aritm.s./SD
D1.	1,83±0,58
D2.	1,00±0,85
D3.	2,15±1,92
D4.	3,38±0,81
D5.	3,10±0,46

Garcia i sur. (2012) u svom istraživanju navode sadržaj pepela *Mischantus x giganteus* od 9,6%, Knörzer i sur. (2013) za istu kulturu dobili su vrijednosti između 2,97 i 3,13%. McKendry (2002) je dobio vrijednosti od 2,8% za *Mischantus x giganteus*. Sadržaj pepela kod stabljike pšenice iznosi od 4 do 7,1% (McKendry, 2002.; Vassilev i sur., 2010.; Eriksson i sur., 2012) te biomase drva 1% (McKendry, 2002).

Raspon sadržaja pepela kreće se od 1,00 do 3,38 % iz čega je vidljivo da je biomasa japanskog dvornika pogodna i kvalitetna kultura za energetske iskoristivost.

Koks predstavlja sekundarni ugljen koji nastaje pri višim temperaturama (Mohan i sur., 2006). Što je udio koksa u sirovini veći, to je gorivo kvalitetnije. U tablici 6. prikazana je analiza varijanci ANOVA za sadržaj koksa u suhom uzorku.

Tablica 6. Analiza varijanci za sadržaj koksa u suhom uzorku

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	14	53,65			
Između	4	17,94	4,48	1,25ns	F _{tab} 0,05=3,48
Unutar (ostatak)	10	35,71	3,57		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. To znači da između lokacija ne postoje značajne razlike stoga nije potrebno provoditi LSD test. U tablici 7. prikazan je udio koksa po pojedinim lokacijama.

Tablica 7. Udio koksa u suhoj tvari

Lokacija	Aritm.s./SD
D1.	17,18±0,38
D2.	16,93±2,51
D3.	16,02±0,48
D4.	14,86±0,71
D5.	14,25±0,33

Iz rezultata je vidljivo da se udio koksa kreće od 14,25 do 17,18 % što je dobar postotak, ali ipak manji od udjela koksa drugih kultura. Uzevši u obzir ostatke ratarskih kultura čija je vrijednost koksa 19,09 % (Krička i sur.,2008) i udio koksa u *Miscanthus x giganteus* od 11,4 do 11,9 % (Jurišić i sur.,2014), japanski dvornik po udjelu koksa nije dovoljno dobra kultura za energetske iskoristivost.

Fiksirani ugljik ili C_{fix} predstavlja primarni ugljen nastao na nižim temperaturama (Mohan i sur., 2006). Povećanjem fiksanog ugljika povećava se ogrjevna vrijednost, čime se poboljšava kvaliteta biomase. U tablici 8. prikazana je analiza varijanci ANOVA za sadržaj fiksanog ugljika u suhom uzorku.

Tablica 8. Analiza varijanci za sadržaj fiksiranog ugljika u suhom uzorku

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	14	71,66			
Između	4	57,12	14,28	9,82*	F _{tab} 0,05=3,48
Unutar (ostatak)	10	14,54	1,45		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što tvrdimo sa 95 % sigurnošću. Kako je razlika signifikantna, potrebno je provesti LSD test što je prikazano na tablici 9.

Tablica 9. LSD test za sadržaj fiksiranog ugljika u suhoj tvari

Lokacija	Aritm.s./SD	LSD test	LSD test
D1.	15,35±0,38	1.-2.ns	2.-4.*
D2.	15,93±2,51	1.-3.ns	2.-5.*
D3.	13,87±0,48	1.-4.*	3.-4.*
D4.	11,48±0,71	1.-5.*	3.-5.*
D5.	11,15±0,33	2.-3.ns	4.-5.ns

Prema LSD testu ne postoje značajne razlike između lokacija, osim između lokacija D1-D4, D1-D5 gdje veći prosjek ima D1 (15,35 %), između lokacija D2-D4 i D2-D5 gdje veći prosjek ima D2 (15,93 %) i između lokacija D3-D4 i lokacija D3-D5 gdje veći prosjek ima D3(13,87 %).

Raspon udjela fiksiranog ugljika kreće se od 11,15 do 15,93 %, što je nešto manje u usporedbi sa stabljikom pšenice čiji se udio fiksiranog ugljika kreće od 17,71 do 21% (McKendry i sur., 2002) i drvnom biomasom čiji se udio kreće oko 17% (McKendry, 2002). Općenito, japanski dvornik ima manji sadržaj fiksiranog ugljika u odnosu na druge korištene sirovine za izgaranje. U tablici 10. prikazani su rezultati analize varijanci ANOVA za sadržaj hlapivih tvari u suhom uzorku.

Tablica 10. Analiza varijanci za sadržaj hlapivih tvari u suhom uzorku

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	14	289,42			
Između	4	274,88	68,72	47,39*	F _{tab} 0,05=3,48
Unutar (ostatak)	10	14,54	1,45		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Kako je razlika signifikantna, potrebno je provesti LSD test. Rezultati su vidljivi na tablici 11.

Tablica 11. LSD test za sadržaj hlapivih tvari u suhom uzorku

Lokacija	Aritm.s./St.dev	LSD test	LSD test
D1.	69,89±0,37	1.-2.ns	2.-4.ns
D2.	70,14±2,51	1.-3.ns	2.-5.*
D3.	75,97±0,47	1.-4.ns	3.-4.ns
D4.	78,36±0,70	1.-5.*	3.-5.*
D5.	66,83±0,32	2.-3.ns	4.-5.*

Prema LSD testu ne postoje značajne razlike između lokacija, osim između lokacije D5 sa lokacijama D1, D2, D3 i D4 gdje je vidljivo da lokacija D5 ima najmanji prosjek.

Collura i sur. (2006) navode sadržaj hlapivih tvari za kulturu *Michantus x giganteus* od 80%, Garcia i sur. (2012) od 79% te Vassilev i sur. (2010) od 71,9%. Drvna biomasa ima sadržaj hlapivih tvari od 84,1% (Vassilev i sur., 2010).

Prosjeci hlapivih tvari u suhoj masi japanskog dvornika kreću se od 66,83 do 78,36 % ovisno o lokaciji, što je manje od prosjeka ostalih drvnih kultura.

U tablici 12. prikazani su rezultati udjela celuloze, hemiceluloze i lignina.

Tablica 12. Udio celuloze, hemiceluloze i lignina

		Lokacija D1	Lokacija D2	Lokacija D3	Lokacija D4	Lokacija D5
CELULOZA	(%)	37,47	44,11	39,82	42,97	44,37
LIGNIN	(%)	26,93	27,71	30,2	30,5	27,16
HEMICELULOZA	(%)	22,86	19,12	17,16	15,93	18,49

Raspon celuloze kreće se od 37,47 do 44,37 %, lignina od 26,93 do 30,5 %, a hemiceluloze od 15,93 do 22,86 %.

Poželjan je što niži udio celuloze i hemiceluloze u biomasi u procesu izgaranja. Biomasa sa većim sadržajem lignina pogodnija je za procese izravnog izgaranja (Grubor i sur.,2015). Iz rezultata je vidljivo da su kod svih lokacija relativno veliki udjeli celuloze i lignina.

Gledano po udjelu lignina, najpovoljnija je lokacija 4 (30,5 %) za izravno izgaranje.

Kalorimetrija je postupak za određivanje gornje ogrjevne vrijednosti. Gornja ogrjevna vrijednost (H_g) je toplina oslobođena pri izgaranju goriva, odnosno to je najveća moguća energija koja se može dobiti izgaranjem nekog goriva. U tablici 13. prikazani su rezultati analize varijanci ANOVA kalorimetrijskih vrijednosti na suhom uzorku.

Tablica 13. Analiza varijanci kalorimetrijskih vrijednosti za suhi uzorak

Izvor varijabilnosti	df	SS	s^2	Fexp	Ftab
Ukupno	9	9,73			
Između	4	9,32	2,33	28,41*	Ftab 0,05=5,19
Unutar (ostatak)	5	0,41	0,082		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Kako je razlika signifikantna, potrebno je provesti LSD test. Rezultati su vidljivi na tablici 14.

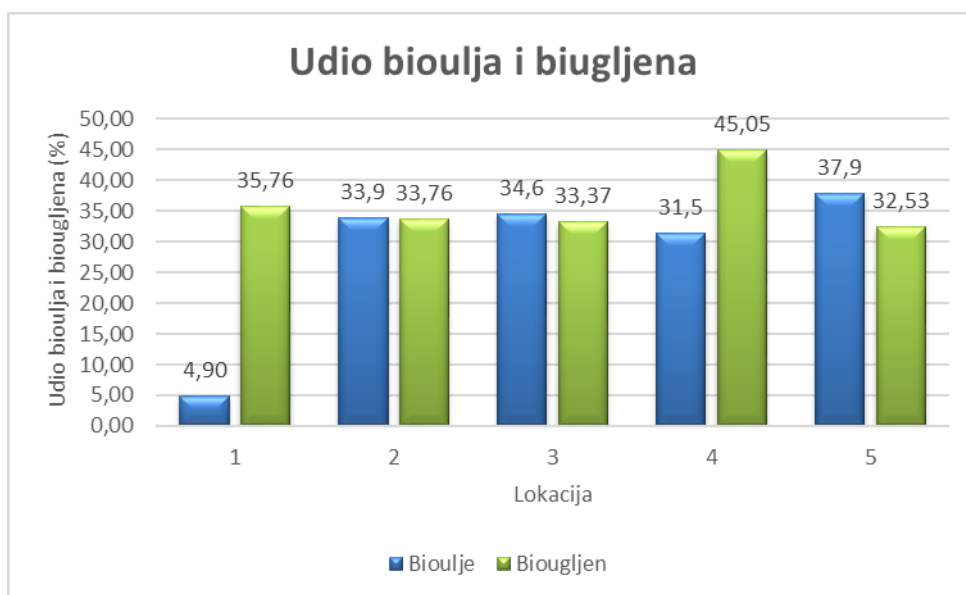
Tablica 14. LSD test kalorimetrijskih vrijednosti suhog uzorka

Lokacija	Aritm.s./SD	LSD test	LSD test
D1.	14,744±0,03	1.-2.ns	2.-4.ns
D2.	15,675±0,007	1.-3.ns	2.-5.*
D3.	16,786±0,09	1.-4.ns	3.-4.ns
D4.	16,729±0,37	1.-5.ns	3.-5.*
D5.	14,507±0,13	2.-3.ns	4.-5.*

Prema LSD testu ne postoje značajne razlike između lokacija, osim između lokacije D5 sa lokacijama D2, D3 i D4 gdje je vidljivo da D5 ima najmanju ogrjevnu vrijednost.

Gornje ogrjevne vrijednosti kreću se od 14,507 do 16,786 MJ/kg što je malo niže od ostalih ispitivanih kultura kao što je slama ječma (16,41 MJ/kg) i slama zob (18,24 MJ/kg) (Bilandžija i sur.,2012). Garcia i sur. (2012) te Collura i sur. (2006) navode da je gornja ogrjevna vrijednost kulture *Mischantus x giganteus* iznosila 17,7 MJ/kg.

U Grafu 2 dat je prikaz udjela biouljena i biougljena sa svake lokacije.



Graf 2. Udio bioulja i biougljena

Iz Grafa 2 vidljivo je da udio bioulja varira od 4,9 (lokacija 1) do 37,9 % (lokacija 5), a postotak biougljena od 32,53 (lokacija 5) do 45,05 % (lokacija 4).

Nakon postupka pirolize, dobiveni biougljen dalje se analizirao standardnim metodama za čvrsta biogoriva.

U tablici 15. prikazan je test analize varijanci ANOVA za sadržaj pepela biougljena

Tablica 15. Analiza varijanci za sadržaj pepela u biougljenu

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	9	2,29			
Između	4	1,35	0,33	1,83ns	F _{tab} 0,05=5,19
Unutar (ostatak)	5	0,94	0,188		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Analiza je pokazala da ne postoji značajna signifikantna razlika između pojedinih lokacija, stoga nije potrebno provoditi LSD test. U tablici 16. prikazani su postoci udjela pepela biougljena.

Tablica 16. Udio pepela u biougljenu

Lokacija	Aritm.s./SD
D1.	1,36±0,07
D2.	1,67±0,18
D3.	0,60±0,82
D4.	1,47±0,42
D5.	1,11±0,17

Krička i sur. (2016) navode udio pepela u slami pšenice od 11,99 %,u slami ječma od 12,64 % i u stabljici uljane repice 7,64 % što je znatno više od udjela pepela japanskog dvornika.

Iz tablice je vidljivo da su udjeli pepela veoma niski i kreću se u rasponu od 0,60 do 1,67 %. Postoci pepela u biougljenu manji su nego u suhoj tvari i stoga se može zaključiti da je biougljen japanskog dvornika veoma pogodna sirovina za proces neposrednog izgaranja.

U tablici 17. prikazan je test analize varijanci ANOVA za sadržaj koksa biougljena.

Tablica 17. Sadržaj koksa u biougljenu

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	9	398,27			
Između	4	353,9	88,47	9,97*	F _{tab} 0,05=5,19
Unutar (ostatak)	5	44,37	8,87		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Kako je razlika signifikantna, potrebno je provesti LSD test. Rezultati su vidljivi na tablici 18.

Tablica 18. LSD test sadržaja koksa u biougljenu

Lokacija	Aritm.s./SD	LSD test	LSD test
D1.	69,00±0,37	1.-2.ns	2.-4.*
D2.	68,73±1,62	1.-3.ns	2.-5.ns
D3.	67,86±2,19	1.-4.*	3.-4.*
D4.	53,23±5,92	1.-5.ns	3.-5.ns
D5.	63,77±1,36	2.-3.ns	4.-5.ns

Prema LSD testu ne postoje značajne razlike između lokacija osim između lokacija D1-D4, D2-D4, D3-D4 gdje je vidljivo da D4 ima najmanji prosjek (53,23 %). Prosjeci se kreću u rasponu od 53,23 do 69,00 % što je više nego u sadržaju koksa suhe tvari. Kod slame pšenice udio koksa iznosi 59,93 %, kod slame ječma 62,89 % i kod stabljike uljane repice 92,36 % (Krička i sur., 2016). Kako je što više koksa u uzorku poželjno, japanski dvornik je dobra sirovina za izgaranje.

U tablici 19. prikazani su rezultati analize varijanci ANOVA za sadržaj fiksiranog ugljika u biougljenu.

Tablica 19. Analiza varijanci za sadržaj fiksiranog ugljika u biougljenu

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	9	18557,23			
Između	4	364,38	91,095	0,025ns	F _{tab} 0,05=5,19
Unutar (ostatak)	5	18192,91	3638,58		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza može se potvrditi. Razlika nije signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Analiza je pokazala da ne postoji značajna signifikantna razlika između pojedinih lokacija, stoga nije potrebno provoditi LSD test.

U tablici 20. prikazani su postoci sadržaja fiksiranog ugljika kod biougljena iz čega je vidljivo da se raspon kreće od 51,76 do 67,64 %. Kička i sur.(2016) navode udjele fiksiranog ugljika za slamu pšenice od 57,94 %, za slamu soje 23,86 % i za slamu tritikale 33,16 % iz čega je vidljivo da japanski dvornik ima veći udio fiksiranog ugljika od ostalih ispitivanih kultura. Uspoređujući ih sa rezultatima sadržaja fiksiranog ugljika kod suhe tvari, zaključak je da su postoci kod biougljena japanskog dvornika znatno veći od postotaka suhe tvari.

Tablica 20. Sadržaj fiksiranog ugljika kod biougljena

Lokacija	Aritm.s./SD
D1.	67,64±0,37
D2.	67,06±1,62
D3.	67,26±2,19
D4.	51,76±5,92
D5.	62,66±1,36

U tablici 21. prikazani su rezultati analize varijanci ANOVA za ogrjevne vrijednosti u biougljenu:

Tablica 21. Analiza varijanci za kalorimetriju biougljena

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	9	9,08			
Između	4	7,92	1,98	8,53*	F _{tab} 0,05=5,19
Unutar (ostatak)	5	1,16	0,232		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Kako je razlika signifikantna, potrebno je provesti LSD test. Rezultati su vidljivi na tablici 22.

Tablica 22. LSD test kalorimetrije biougljena

Lokacija	Aritm.s./SD	LSD test	LSD test
D1.	24,75±0,15	1.-2.ns	2.-4.*
D2.	26,85±0,35	1.-3.ns	2.-5.*
D3.	26,20±0,24	1.-4.ns	3.-4.*
D4.	24,70±0,25	1.-5.ns	3.-5.*
D5.	24,81±0,25	2.-3.ns	4.-5.ns

Prema LSD testu ne postoje značajne razlike između lokacija osim između D2-D4, D2-D5, gdje D2 ima veću ogrjevnu vrijednost (26,85 MJ/kg) i D3-D4, D3-D5 gdje je vidljivo da D3 ima veću ogrjevnu vrijednost (26,20 MJ/kg) od lokacija D4 i D5 .

U istraživanjima biougljena nakon pirolize drvnih ostataka, ogrjevna vrijednost kretala se od 20 do 30 MJ/kg (Sukiran i sur., 2011; Anderson i sur., 2013). Ogrjevne vrijednosti biougljena u dvorniku kreću se od 24,70 do 26,85 MJ/kg što je znatno više od ogrjevne vrijednosti izvorne sirovine, a u skladu s vrijednostima drugih kultura pa je stoga biougljen japanskog dvornika vrlo dobra sirovina sa stanovišta neposrednog izgaranja.

U tablici 23. prikazani su rezultati analize varijanci ANOVA za sadržaj hlapivih tvari u biougljenu.

Tablica 23. Analiza varijanci za sadržaj hlapivih tvari u biougljenu

Izvor varijabilnosti	df	SS	s ²	F _{exp}	F _{tab}
Ukupno	9	398,27			
Između	4	353,89	88,47	9,97*	F _{tab} 0,05=5,19
Unutar (ostatak)	5	44,38	8,87		

Sukladno dobivenim rezultatima postavljena hipoteza mora se odbaciti. Razlika je signifikantna što se tvrdi sa 95 % sigurnošću. Kako je razlika signifikantna, potrebno je provesti LSD test. Rezultati su prikazani na tablici 24.

Tablica 24. LSD test sadržaja hlapivih tvari u biougljenu

Lokacija	Aritm.s./SD	LSD test	LSD test
D1.	31,00±0,36	1.-2.ns	2.-4.ns
D2.	31,27±1,61	1.-3.ns	2.-5.ns
D3.	32,14±2,18	1.-4.ns	3.-4.ns
D4.	46,77±5,92	1.-5.ns	3.-5.ns
D5.	36,23±1,36	2.-3.ns	4.-5.*

Prema LSD testu ne postoje značajne razlike između lokacija osim između lokacija D4-D5 gdje je vidljivo da D4 ima veći prosjek (46,77 %) od D5 (36,23 %). Prosjeci se za sadržaj hlapivih tvari kreću od 31,00 do 46,77 % što je manje od sadržaja hlapivih tvari kod suhe tvari. Za razliku od japanskog dvornika slama soje sadrži 64,31 % hlapivih tvari, a stabljika uljane repice 57,57 % (Krička i sur., 2016) što je nešto više od udjela hlapivih tvari kod japanskog dvornika.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja invazivne vrste *Reynoutria japonica* (japanski dvornik), analizama, dobivenim rezultatima i nakon provedenog postupka pirolize sa dobivenim biougljenom može se zaključiti :

- Mali udio vode u suhoj tvari kod svih lokacija, osim kod lokacije 5 poželjna je karakteristika i japanski dvornik je dobra sirovina za izgaranje.
- Nizak sadržaj pepela na svih pet lokacija kod biomase i biougljena pokazuje da je japanski dvornik izrazito dobra kultura za izravno izgaranje.
- Zanimljivo niži sadržaj koksa kod suhe tvari u odnosu na druge kulture, a visok sadržaj kod biougljena smatra se dobrim svojstvom za izravno izgaranje.
- Visoka ogrjevna vrijednost biougljena veća je od literaturnih navoda ogrjevnih vrijednosti biomase, što je još jedna poželjna karakteristika za japanskog dvornika kao energenta.
- Visok sadržaj fiksiranog ugljika kod biougljena povećava i ogrjevnu vrijednost pa svrstava japanskog dvornika kao povoljnu sirovinu za izgaranje.
- Lignocelulozni sastav sa četiri lokacije pokazuje da je prisutan dosta veliki postotak celuloze što je negativno, a postotak lignina kojega bi trebalo biti najviše da sirovina bude kvalitetna za izgaranje nije značajan.
- Dvostruko manji postotak hlapivih tvari kod biougljena u odnosu na biomasu predstavlja poželjno svojstvo.

Na temelju dobivenih rezultata, konačni zaključak je da je invazivna vrsta *Reynoutria japonica* (japanski dvornik) veoma dobra sirovina za proces neposrednog izgaranja, ali i za proces pirolize odnosno proizvodnju biougljena i bioulja te ga se svakako može u budućnosti koristiti u procesima dobivanja energije.

6. LITERATURA

1. Anderson H.(2012). Invasive Japanese Knotweed (*Fallopia japonica* (Houtt.) Best Management Practices in Ontario. Ontario Invasive Plant Council, Peterborough, ON. [online]
<http://www.ontarioinvasiveplants.ca/wpcontent/uploads/2016/06/OIPC_BMP_JapaneseKnotweed.pdf> Pristupljeno: 31.kolovoz 2017.
2. Anderson N. J., Greg Jones, Page-Dumroese D., McCollum D., Baker S., Loeffler D., Chung W. (2013). A Comparison of Producer Gas, Biochar, and Activated Carbon from Two Distributed Scale Thermochemical Conversion Systems Used to Process Forest Biomass. *Energies* 6: 164-183.
3. Balat, M., Kırtaç, E., Balat, H. (2009). Main routes for the thermoconversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. *Energy Conversion and Management*, 50(12), 3147-3157.
4. Bilandžija N., Leto J., Voća N., Sito S., Krička T. (2012). *Miscanthus x giganteus* kao energetska kultura. Zbornik radova. 40th Engineering „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Opatija, Hrvatska, 21. - 24.02.2012., str. 495-505.
5. Bilandžija, N., Leto, J., Kiš, D., Jurišić, V., Matin, A., Kuže, I. (2014). The impact of harvest timing on properties of *Miscanthus x giganteus* biomass as a CO₂ neutral energy source. *Collegium Antropologicum*, 38(1), 85-90.
6. Božović V.(2016). Biomasa. Greenpartnership.eu [online] <<http://www.greenpartnerships.eu/wp/wp-content/uploads/Biomasa-21.pdf>> Pristupljeno : 31. kolovoz 2017.
7. Chiamonti, D., Oasmaa, A., Solantausta, Y. (2007). Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(6), 1056-1086.
8. Collura S., Azambre B., Fiqueneisel G., Zimny T., Weber J.V. (2006). *Miscanthus x giganteus* straw and pellets as sustainable fuels. *Environ Chem Lett* (2006) 4: 75 -78. Committee for Standardization.
9. Čakija A. (2007). Značaj poljoprivrede u korištenju obnovljivih izvora energije. Zbornik radova, II stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem: Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj (energija biomase, bioplina i biogoriva). Osijek
10. Erickson, J., Rainbolt, C., Newman, Y., Sollenberger, L., Helsel, Z. (2008). Production of *Miscanthus x giganteus* for Biofuel. Production of Biofuel Crops in Florida. Agronomy Department, IFAS, University of Florida.
11. Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (2017). Energetska učinkovitost. Obnovljivi izvori energije.

[online]<http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/obnovljivi_izvori_energije
> Pristupljeno: 02. rujan 2017.

12. Gaber M., Handlos M., Metschina Ch. (2014). Priručnik o biomasi. Sustavi osiguranja kvalitete i Mjere kontrole kvalitete., Poljoprivredna komora Štajerske, Graz.
13. García R., Pizarro C., Lavín A.G., Bueno J.L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresour. Technol.*, 103: 249-258
14. Glasser, W. G., Jain R. K., (2001). Thermoplastic Polyesters from Steam Exploded Wood. (Part 6 of Steam-Assisted Fractionation of Biomass-series). Chapter in *Chemicals and Materials from Renewable Resources*, Joe J. Bozell, ed., ACS Symposium Series No. 784, 191-215.
15. Glavač V., (2001). Uvod u globalnu ekologiju. Knjiga, Hrvatska Sveučilišna Naklada.
16. Grubor M., Krička T., Voća N., Jurišić V., Bilandžija N., Antonović A., Matin A. (2015). Iskoristivost slame žitarica za proizvodnju zelene energije. *Krmiva* 57. Zagreb.
17. Heleta M. (2010). Projektovanje menadžment sistema životne i radne sredine, Univerzitet Singidunum.
18. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (2017). Invazivne vrste u Hrvatskoj. Utjecaj invazivnih stranih vrsta.
[online] <http://www.invazivnevrste.hr/?page_id=130> Pristupljeno: 1. rujan 2017.
19. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (2017). Invazivne strane vrste.
[online] <http://www.dzrp.hr/vrste/invazivne-strane-vrste/invazivne-strane-vrste-865.html> Pristupljeno : 02. rujan 2017.
20. Izvori energije. Proizvodnja biomase mora postati održiva. (2012).
[online] <<http://www.izvorienergije.com/news.html>> Pristupljeno : 2. rujan 2017.
21. Jahirul, M. I., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A., Ashwath, N. (2012). Biofuels production through biomass pyrolysis—a technological review. *Energies*, 5(12), 4952-5001.
22. Jurišić V., Bilandžija N., Krička T., Leto J., Matin A., Kuže I. (2014). Fuel properties' comparison of allochthonous *Miscanthus x giganteus* and autochthonous *Arundo donax* L.: a case study in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79: 7 – 11

23. Khan A. A., de Jong W., Jansens P. J., Spliethoff H. (2009). Biomass Combustion in Fluidized Bed Boilers: Potential Problems and Remedies. *Fuel Process. Tehnol.*, 90: 21-50.
24. Knörzer H., Hartung K., Piepho H.P., Lewandowski I. (2013). Assessment of variability in biomass yield and quality: what is an adequate size of sampling area for miscanthus GCB Bioenergy. 5: 572-579.
25. Krička T., Bilandžija N., Jurišić V., Voća N., Matin A. (2012). Energy analysis of main residual biomass in Croatia. *African Journal of Agricultural Research*, 7: 6383 - 6388.
26. Krička T., Jurišić V., Matin A., Bilandžija N., Antonović A. (2016). Mogućnost pretvorbe i iskorištenja ostataka poljoprivredne biomase nakon procesa pirolize
27. Lodeta, V., Novak, N.(2010). Japanski dvornik - alohtona invazivna vrsta u Hrvatskoj // Glasilo biljne zaštite, Zbornik sažetaka 54. seminara biljne zaštite Opatija, Hrvatska, str. 8-9
28. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1). Overview of biomass. *Bioresource Tehnology*, 83, 37-46.
29. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*, 83(1), 47-54.
30. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva. Biomasa kao obnovljivi izvor energije [online] <<http://www.fradragoljevar.com/Biomasa.pdf>> Pristupljeno: 07. listopada 2017.
31. Mohan D., Pittman C.U., Steele P.H. (2006). Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energ. Fuel*, 9(3): 273-281.
32. Narodne novine (2013). Odluka o proglašenju zakona o zaštiti prirode. [online] <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1658.html> Pristupljeno : 18.studeni 2017.
33. Nikolić T., Mitić B., Boršić I. (2014). Flora Hrvatske. Invazivne biljke. Alfa d.d., Zagreb.
34. Nikolić T. (2015). Rasprostranjenost *Reynoutria japonica* Houtt. u Hrvatskoj, Flora Croatica baza podataka. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu [online] <<http://hirc.botanic.hr/fcd>>. Pristupljeno: 20.rujan 2017.

35. Novak N., Lodeta V., Kravaršćan M. (2010). Japanese knotweed (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.) - colonization in Croatia // 21st COLUMA Conference, International Meeting on Weed Control, Resumes. Dijon, Francuska, str. 58-58
36. Novak N., Lodeta V., Kravaršćan M. (2011). Invazivne strane korovne vrste u Hrvatskoj, Program i sažetci priopćenja 55. seminara biljne zaštite, 35, Opatija, 8.-11.2.2011.
37. Novak N., Kravaršćan M. (2011). Invazivne strane korovne vrste u Republici Hrvatskoj. Hrvatski centar za poljoprivredu, hranu i selo, Zagreb.
38. Pašičko R., Robić S., Tuerk A (2007). Utjecaj trgovanja emisijama CO₂ na konkurentnost energije iz biomase. Zbornik radova, II stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem: Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj (energija biomase, bioplina i biogoriva). Osijek.
39. Peng W., Qin R., Li X., Zhou H. (2013). Journal of Ethnopharmacology. Botany, phytochemistry, pharmacology, and potential application of *Polygonum cuspidatum* Sieb.et Zucc.: A review. Volume 148, Issue 3, 30 July 2013, Pages 729-745
40. Ross C. J. (2008). Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat & Power. Northwest CPH Application Center. USA.
41. Rouified, S., Piola, F. (2009): Contrasting influence of cutting on belowground growth rate of Japanese knotweeds *Fallopia japonica* and *Fallopia x bohemica*, Book of Abstracts, Biolief, World conference on biological invasions and ecosystem functioning, Porto (Portugal), 27-30 October 2009
42. Službeni glasnik međimurske županije (listopad 2014) Članci. Broj 13 - 2014. - Godina XXII.
[online] <http://medjimurska-zupanija.hr/dokumenti/Sluzbeni_glasnik/2014/SGLMZ_13-14_web.pdf> Pristupljeno : 21.rujan 2017.
43. Sukiran M. A., Kheang L. S., Abu Bakar N., Yuen May C. (2011). Production and Characterization of Bio-Char from the Pyrolysis of Empty Fruit Bunches. American Journal of Applied Science. 8: 984-988.
44. Sušnik H., Benković Z. (2007). Energetska strategija Republike Hrvatske u kontekstu održivog razvitka šumarstva i poljoprivrede. Pretvorba biomase u energiju.
[online] < http://www.sumari.hr/biblioteka/Zbornik_Osijek_2007.pdf > Pristupljeno: 31.kolovoz 2017.
45. Šneler F. (2011). Japanski dvornik- dar prirode ili korov. Gospodarski list. Izdanje 22, svibanj 2011.
46. Uredba (EU) br. 1143/2014 Europskog parlamenta i vijeća od 22. listopada 2014. o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta

- [online] <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32014R1143>> Pristupljeno: 06. rujan 2017.
47. Vassilev S.V., Baxter D., Vassileva C.G., Andersen L.K. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89: 913-933.
48. Vuković N., Šegota V., Alegro A., Koletić, N. (2016). "Flying under the radar" - invasive *Reynoutria x bohemica* Chrtek et Chrtkova (Polygonaceae) in Croatia. Book of abstracts of the 5th Croatian Botanical Symposium with international participation
49. Weber, E. (2005): *Invasive Plant Species of the World. A Reference Guide to Environmental Weeds*. Geobotanical Institute. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, Switzerland.
50. Yao B. Y., Changkook R., Adela K., Yates N. E., Sharifi V. N., Swithenbank J. (2005). Effect of fuel properties on biomass combustion. Part II. Modelling approach identification of the controlling factors. *Fuel* 84(16), 2116–2130.
51. *Zaštita prirode. Zaštićena priroda. Vrste i staništa. Vrste. Invazivne vrste.*
[online] <<http://www.zastita-prirode.hr/Zasticena-priroda/Vrste-i-stanista/Vrste/Invazivne-strane>> Pristupljeno: 21. lipanj 2017.

Slike :

2. Pojednostavljeni ciklus biomase

Izvor: <http://www.bioen.no/>

3. Pretvorba Biomase

Izvor: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ra/c5ra26459f#!divAbstract>

4. Cvijet japanskog dvornika

Izvor : http://nyflora.us/floraPolygonumcuspidatum_page.htm

5. Stabljika, listovi, rizom vrste *Reynoutria japonica*

Izvor: <https://quantumjk.blogspot.hr/2017/09/japanski-dvornik-napada-godzila-biljka.html>

6. Karta rasprostranjenosti vrste *Reynoutria japonica* u Republici Hrvatskoj

Izvor : <https://hirc.botanic.hr/fcd/ShowResults.aspx?hash=-1603273449>

7. ŽIVOTOPIS

Petra Filipčić rođena je u Zagrebu 07. siječnja 1992. Nakon završene osnovne škole 2006. godine, upisuje XVI. Jezičnu gimnaziju u Zagrebu iste godine. Nakon završetka srednje škole 2010. godine upisuje Tekstilno tehnološki fakultet u Zagrebu te iste godine, ali se prebacuje na Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i upisuje preddiplomski studij hortikulture 2011. godine. Završava preddiplomski studij 2015. godine i iste godine upisuje diplomski studij Ekološka poljoprivreda i agroturizam na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.